

### 3. Talajnedvességen alapuló aszálymonitoring távérzékelés és terepi adatok alapján

van Leeuwen, Boudewijn; Barta Károly; Ladányi Zsuzsanna; Blanka Viktória, Sipos György

#### Bevezető

Az aszályt egy olyan tartós légköri jelenséggként tartjuk számon, melyet az átlagosnál lényegesen kevesebb csapadékkal és/vagy az átlagosnál lényegesen magasabb hőmérséklettel jellemezhetünk, s ezek következtében jelentős és tartós vízhiány alakul ki (WMO, GWP, 2016). Számszerűsítésére számos indexet dolgoztak ki (pl. Palmer, 1965; Pálfi, 2004, Balint et al., 2011, Zargar et al, 2011), melyek jobbára csak a klasszikus meteorológiai paraméterekkel (csapadék, hőmérséklet stb.) operálnak, és nem veszik figyelembe azt, hogy adott meteorológiai szituációban az aszály súlyosságát jelentősen befolyásolja a talaj nedvességi állapota is. Az indexek egy része ezt a vizsgált időszakot megelőző csapadékmennyiségek segítségével próbálja indirekt módon beépíteni a jellemzésbe, mint például a Magyarországon legszélesebb körben elterjedt Pálfi-féle aszályindex is (Pálfi, 2004). Más indexek már számolnak a talajnedvességgel, sokszor azonban nem közvetlen terepi mérések alapján, hanem szimulált értékek segítségével (pl. Narasimhan és Srinivasan, 2005). A talajnedvesség szerepe ugyanakkor nemcsak az aszály mértékének regionális módosításában jelentkezik, hanem egy adott területen (ország, régió, táj) belül a különböző talajtípusok függvényében a térbeli differenciálásában is. Magyarországi és szerbiai példaként említhető, hogy a Duna és a Tisza közötti homokterületeken ugyanaz a meteorológiai szituáció lényegesen súlyosabb aszályt okoz, mint a Tiszától keletre fekvő csernozjom típusú talajokon. Magyarországon az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) szimuláción alapuló talajnedvesség-becsléséből a felső 1 m-es talajrétegre számolható vízhiány (Chen és Dudhia, 2001; Horváth et al., 2015, OMSZ 2019a).

A talajnedvesség terepi mérésére számos lehetőség kínálkozik, mind a hazai, mind a nemzetközi gyakorlatban legelterjedtebbek a dielektromos állandó mérésén alapuló módszerek, azok közül is a TDR-technikára (Time Domain Reflectometry) épülő térfogati nedvességtartalom-mérések (Kirkham, 2014). Egy korábbi projekt keretében (WAHASTRAT, HUSRB/1203/121/130; 2013-2014) a Dél-Alföldön és a Vajdaságban összesen 16 db olyan meteorológiai mérőállomást telepítettünk, melyek részeként hat különböző mélységben (10, 20, 30, 45, 60 és 75 cm) talajnedvesség-mérések is folynak (Barta et al., 2014). Ezt az állomáshálózatot 2016-ban követte egy országos lefedettségű, folyamatosan bővülő meteorológiai és talajnedvesség-monitoringrendszer (Fiala et al., 2018), melyet az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) üzemeltet. Az állomások száma 2019 nyarára elérte a 47-et (OVF Aszálymonitoring 2019).

A horizontálisan és vertikálisan is kiterjedt monitoring ellenére az aktuális talajnedvesség országos léptékű térképének elkészítése továbbra is komoly kihívást jelent a szakembereknek, ugyanis a pontszerű mérési adatok térbeli kiterjesztése a talajnedvesség esetében számos nehézségbe ütközik. A teljesség igénye nélkül meg kell említeni a talajok hidrofizikai tulajdonságainak (pl. kötöttség, vízáteresztő képesség, tömörödöttség) térbeli változatosságát, a makro- és mikrodomborzat szerepét a nedvességvizonyok alakulásában és a mozaikos területhasznosítás, felszínfedettség befolyásoló hatását. Ráadásul a fixen telepített monitoring állomások területén nem tartható fenn pl. a szántóföldi művelés, így a felszínborítottsági különbségek és a talajművelés hiánya megkérdőjelezi az állomások talajnedvesség-adatainak reprezentativitását. A rendkívül összetett feladat megoldására a térben folytonos adatot szolgáltató távérzékelési módszerek jelenthetik a megoldást. A műholdas távérzékelés lehetővé teszi olyan algoritmusok kifejlesztését és alkalmazását, amelyek a Föld felszínének nagy területeiről képesek egységes módszeren alapuló információt szolgáltatni. A talaj nedvességtartalmának becslése műholdas adatok segítségével olyan kihívást jelent, amellyel az elmúlt harminc évben részletesen foglalkoztak a szakemberek (Srivastava et al., 2016). A talaj nedvességtartalmának becslésére optikai, termális infravörös és mikrohullámú szenzorok segítségével nyert adatokon alapuló megközelítéseket alkalmaztak nagy területeken. Barret és Petropoulos részletesen tárgyalják ezeket a megközelítéseket (2014). Napjainkban a legtöbb módszer, amely műholdas adatok segítségével kívánja a talaj nedvességtartalmát meghatározni, mikrohullámú adatokon alapul. A Sentinel 1 radar műholdak üzembe helyezésével különösen ígéretes irányra vált ez. Sajnos azonban egyelőre nem áll rendelkezésre a közepeستől a magas felbontásig terjedő adatokat szolgáltató termék a talajnedvesség becslésére, éppen ezért a kutatás során egy optikai-termális infravörös megközelítést alkalmazunk.

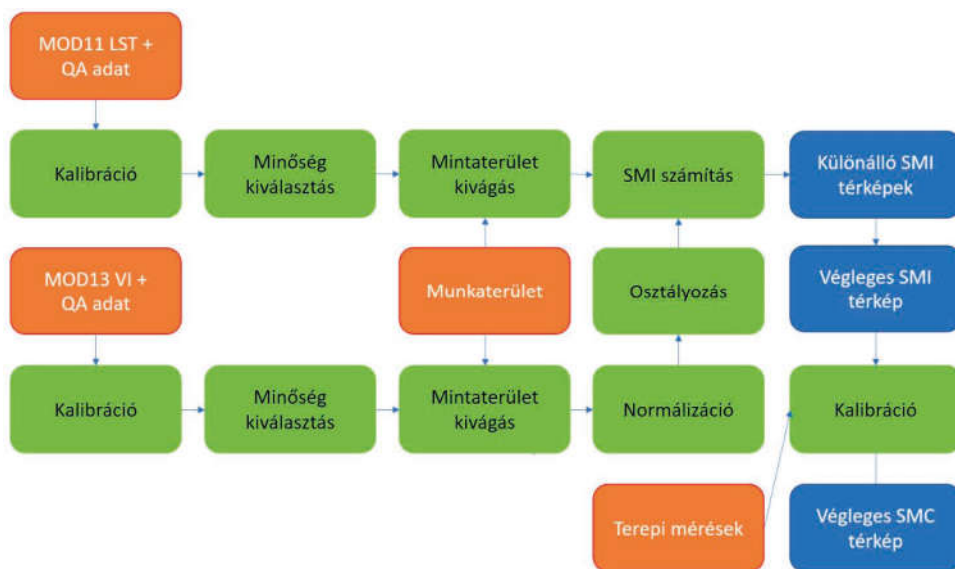
A talaj nedvességtartalmának nagy térbeli és időbeli heterogenitása miatt nehéz pontos becsléseket készíteni nagy területekre. A pontmérések relatíve kis területek esetében reprezentatívak, míg a műholdas alapú mérések nagy területre vonatkozó méréseket integrálnak és egy pixelben tárolják az eredményeket. A műholdas alapú mérések kalibrálása és validálása terepi mérésekkel éppen ezért nehéz feladat.

Kutatásunkban a cél az, hogy folyamatosan biztosítsunk műholdas alapú talajnedvesség adatokat a projekt célterületre (Csongrád és Bács-Kiskun megye Magyarországon, Vajdaság tartomány Szerbiában). Annak érdekében, hogy az így kapott talajnedvesség indexet (SMI) át tudjuk alakítani talajnedvesség-tartalommá (SMC) térfogat%-ban (térfogati nedvességtartalom, ezt általában a talajtanban használják), a műholdas alapú SMI térképeket megpróbáltuk terepi talajnedvesség-tartalom mérésekkel kalibrálni. Ez a fejezet a kutatási módszereket és a projekt során nyert tapasztalatokat mutatja be.

## Módszerek

A bemutatott módszer, MODIS vegetációs index MOD 13 16 napos kompozitokon és MODIS földfelszín hőmérséklet MOD 11 műholdas adatokon alapul. Ezeket az adatok már 2000 óta elérhetőek, éppen ezért alkalmasak az adatok hosszú távú elemzéséhez és folyamatos monitoringhoz. A vegetációs adat úgy jön létre, hogy minden egyes pixelhez hozzárendelik a 16 napos időszak maximum NDVI értékét (Huete 1999). Ily módon a felhők és egyéb zavaró tényezők hatása minimalizálódik, és a teljes tanulmányozott területre vonatkozó adatok rendelkezésre állnak. Feltételezzük, hogy a 16-napos periódus során a vegetáció állapota viszonylag stabil. Az adatok térbeli felbontása 250 x 250 méter. A földfelszín hőmérséklet adatokat naponta mérik, 500-méteres térbeli felbontásban (Wang 1999). A regisztráció után mindkét input adathalmaz letölthető és szabadon felhasználható.

Az optikai – TIR-alapú módszer azon a feltételezésen alapul, hogy a hasonló vegetációval borított területeken mutatózó termális különbségek oka a talaj nedvességtartalmának változása (Vicente-Serrano et al., 2004). A feldolgozási folyamathoz az algoritmus python szkriptek és az arcpy geoprocessing könyvtár használatával készült (3.1 ábra).



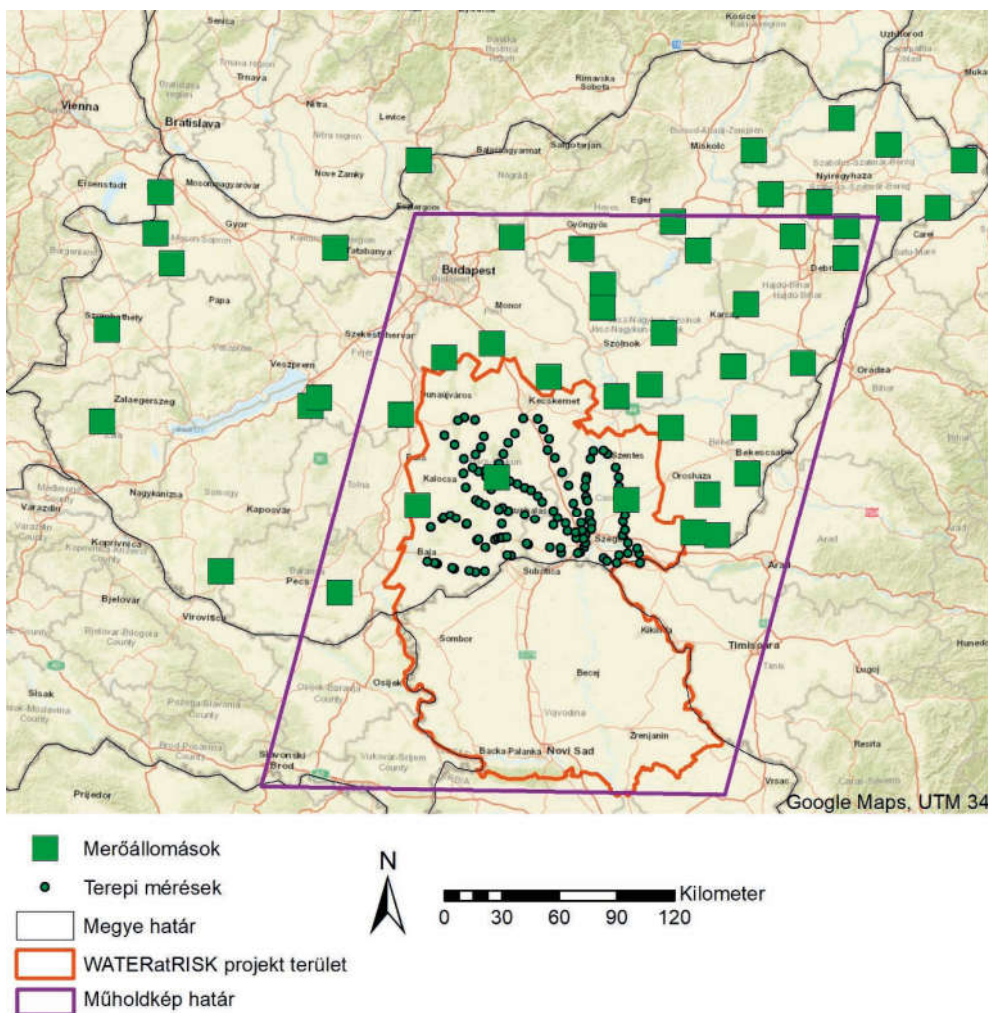
3.1 ábra Talajnedvesség index feldolgozási munkafolyamat

Annak meghatározására, hogy melyik területeket borítja hasonló vegetáció, az NDVI réteget kinyerjük a MOD 13 termékből. Ugyanazon MOD13 termék megbízhatósági rétegének használatával a nem megfelelő minőségű pixeleket eltávolítjuk. A megmaradó pixeleket normalizáljuk és 10 egyenlő osztályba soroljuk. Csak miután mindegyik osztályt definiáltuk (amelyeknek van pixele), így teljes mértékben meghatározható az algoritmus és a hőmérsékletek feldolgozhatók. A földfelszíni hőmérséklet

MOD13 product. Using the reliability layer of the same MOD13 product, pixels with insufficient quality are removed. The remaining pixels are normalized and reclassified in 10 classes with equal width. Only if all classes are defined (that have pixels), the algorithm is fully determined, and the temperatures are processed. The land surface temperature layer is extracted from the MOD11 product. Only pixels with high quality are used for further processing. For each vegetation fraction class, the minimum and maximum temperatures are extracted and the linear relationship between the land surface temperature and soil moisture content index within the class is established using (1).

$$SMI_{i,c} = \frac{LST_{c,min} - LST}{LST_{c,max} - LST_{c,min}} + 1 \quad (1) \quad (1)$$

where  $SMI_{i,c}$  is the soil moisture index for pixel  $i$  in class  $c$ . In this way, 10 SMI maps are created giving the soil moisture content for each vegetation fraction class. Combining the separate SMI maps gives the final SMI map for the total study area. The final map contains index values between 0 (minimum soil moisture content) and 1 (maximum soil moisture content). SMI maps can only be determined if sufficient pixels are available in the vegetation and land surface data, and if every vegetation class is determined. To convert the SMI maps to soil moisture content in v/v% units, the individual maps need to be calibrated with ground measurements. Two methods have been applied to calibrate the data. The first method is based on the soil moisture station network maintained by the Hungarian water authorities (OV5 Aszálymonitoring 2019). This network consisted of 47 stations in March 2019 of which 27 are in the area that was covered by this study (Fig. 3.2). Air temperature, soil moisture at 6 depths, soil temperature at 6 depths, relative humidity, and precipitation are measured by the stations. A php and curl API is provided to automatically download hourly data for every station. A python script was used to download the soil moisture data from a depth of 10 cm. For the period 01-01-2017 until 03-30-2019, if an SMI map was available, the soil moisture index was extracted from the SMI maps at the locations of the measurement stations, and compared to field measurements at 11:00 UTC, which is

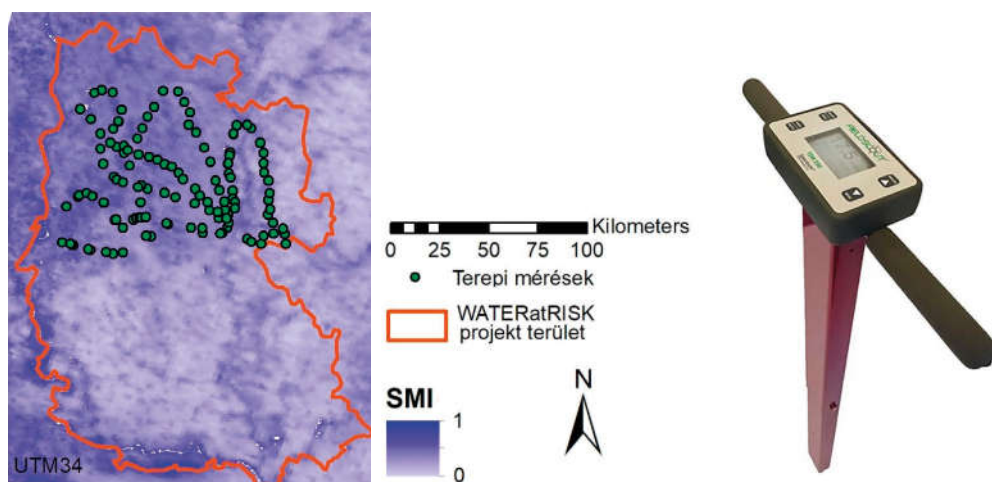


3.2 ábra A vizsgált terület, a talajnedvesség-mérő állomásokkal és a kutatás részét képező, 2019. március 27-ei terepi felmérés mérési pontjaival

A hordozható eszközök lehetővé tették, hogy a vizsgált mintaterület egyes részein jellemző területhasználat-, illetve talajtípus jól reprezentált legyen a mérési adatokban. A mérési pontok kiválasztásánál további fontos szempont volt, hogy olyan méretű parcellákon mérjünk, melyek legalább egy teljes pixelt lefednek a távérzékelte MODIS-felvételeken. Figyelembe véve a képek 250 x 250 m-es felbontását, minimum 500 x 500 m-es parcellák kiválasztása volt a cél. Ezek legtöbbször szántó volt, de voltak közöttük legelő, gyümölcsösök (szőlő) és erdők is.

Ugyanazokra a pontokra, ahol a terepi mérések történtek, az adott napi SMI térképből kinyertük a talajnedvesség index adatokat (3.3 ábra). Ugyanezekre a pontokra kiszámítottuk a determinációs együtthatót is, hogy megállapítsuk milyen erős a kapcsolat a műhold alapján készült becslések és a terepi mérések között.

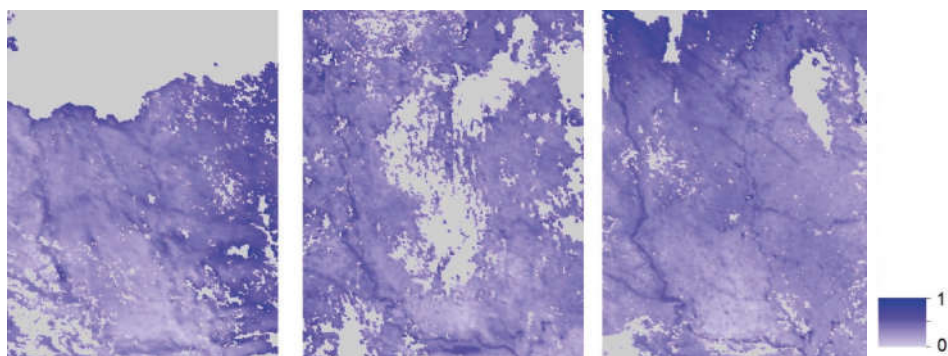




3.3 ábra A 2019. március. 27-ei terepi mérőssorozat pontjai, valamint a FieldScout TDR350 mérőeszköz

## Eredmények

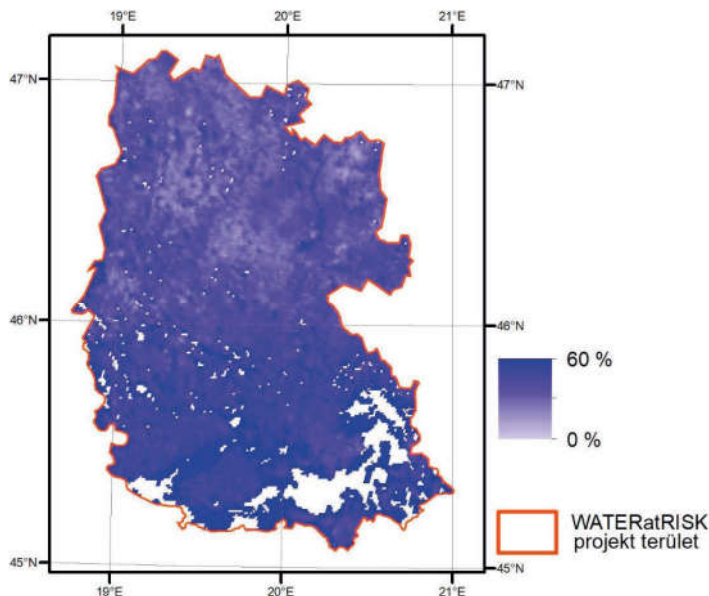
A műholdas adatok alapján elkészült talajnedvesség térképeket összehasonlítottuk a 27 talajnedvesség állomás 2017. január 1. és 2019. március 29. közötti időszakra vonatkozó adataival. A vizsgált 630 napra elő lehetett állítani a műholdas alapú SMI térképeket, de számos térkép felhős napon készült, ezért nagy területek maradtak SMI érték nélkül (3.4.ábra).



3.4 ábra Talajnedvesség index térképek eltérő mértékű hiányzó adattal (szürke részek) 2017. január 1. (baloldal), 2017. április 25. és 2018. november 12. (jobboldal)

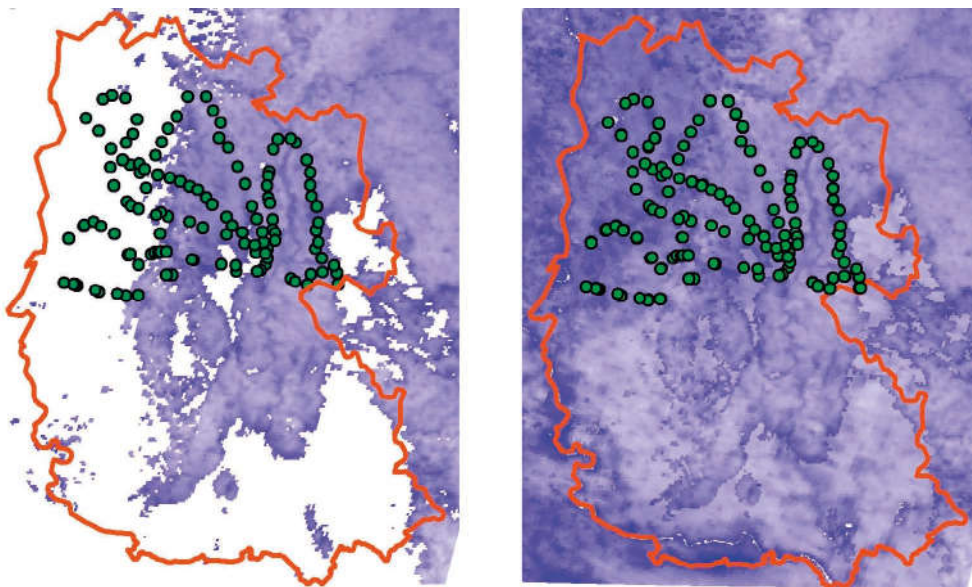
Annak érdekében, hogy meg tudjuk állapítani a kapcsolatot a terepi mérések és a műholdas adatok között, tapasztalataink alapján legalább négy pontra van szükség. Sok esetben nem lehetett ennek a követelménynek megfelelni, mivel a

mérőállomások olyan földrajzi helyen voltak, ahol nem állt rendelkezésre SMI adat. Összesen 440 napon (70%) lehetett meghatározni a regressziós egyenletet. További korlátozó tényezőt jelentett az, hogy sok esetben a determinációs együttható rendkívül alacsony volt. Éppen ezért úgy döntöttünk, hogy csak akkor használhatók a talajnedvesség állomásokon mért adatok az SMI térkép kalibrálására ha a kapcsolat pozitív és a determinációs együttható nagyobb, mint 0,5. Ennek eredményeképpen összesen 27 (ez a 630-napos időszak 7.5%-a) SMI térképet kaptunk (3.5 ábra).



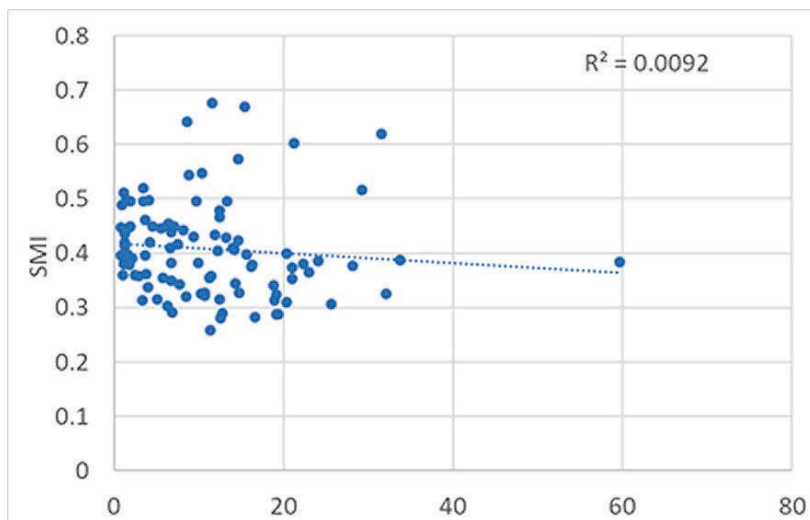
3.5 ábra Talajnedvesség térkép az OVF talajnedvesség-mérő állomásainak adataival kalibrálva, 2018. július 14-én

A 2019. március 27-ei talajnedvesség mérési kampány eredménye egy 136 mérési pontból származó in situ talajnedvesség adathalmaz lett. Ezeket az adatokat összehasonlítottuk a 2019. március 28-án készült műholdas SMI térképpel. Ez azért volt célszerű választás, mert a március 27-én a kép készítésének idején elég nagy volt a felhőborítás, így sok helyen nem volt rendelkezése álló adat. (3.6 ábra).



3.6 ábra Rendelkezésre álló adatok 2019. március 27-én és 2019. március 28-án

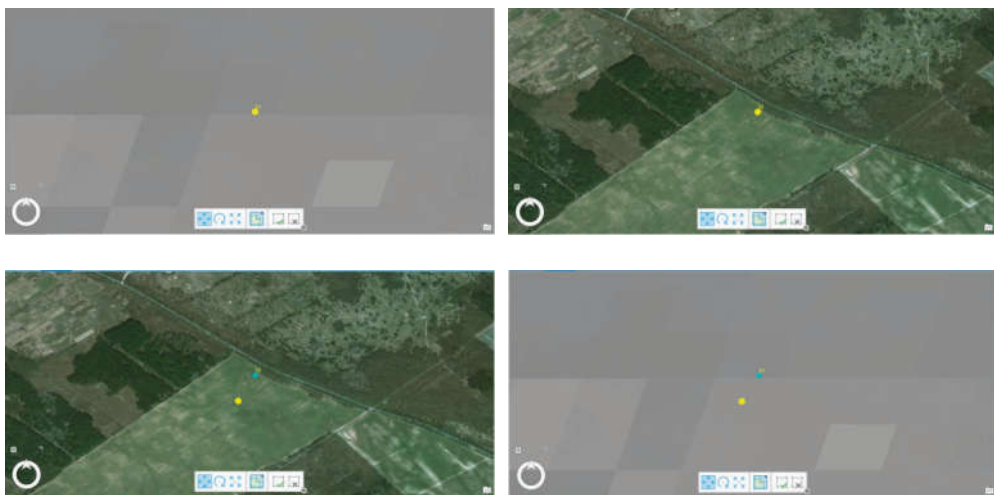
A terepi mérések koordinátái alapján kinyertük a ponthoz tartozó pixelből kinyertük az SMI adatokat. A kapott értékeket függvényen ábrázoltuk a terepen mért talajnedvesség-tartalom értékekkel, és kiszámítottuk a determinációs együtthatót (3.7 ábra). Sajnos az értékek között nem lehetett statisztikai kapcsolatot megállapítani. Számos kísérletet tettünk arra, hogy részhalmazokat alkossunk felszínborítás és talaj típus alapján, de a determinációs együttható akkor is 0-hoz közeli maradt.



3.7 ábra A terepen mért talajnedvesség térfogat %-ban (vízszintes tengely) és a műholdas talajnedvesség index értékek (függőleges tengely) közötti kapcsolat



A műholdas távérzékelésen alapuló talajnedvesség index értékeket közvetve származtattuk optikai, közeli infravörös és termális adatokból, és egy értékké integráltuk egy teljes pixelhez. A terepi talajnedvesség-mérések viszont pont mérések, amelyek a mérési pont közvetlen környezetére jellemzőek. A két adathalmaz közötti korreláció hiányának fő oka az adatok térbeli léptékének nagy különbsége. Egy másik ok az lehet, hogy nehéz megállapítani, a műholdas kép melyik pixele jelenti a pont mérés helyszínéhez tartozó talajnedvesség-index értéket. A két adathalmazt egymásra fektetve azt látjuk, hogy a terepi mérési pont lehet két pixel határvonalán is (3.8. ábra balra fent). Amikor egy nagyon nagy felbontású műholdas képen vizsgáljuk a pont mérések elhelyezkedését, látható, hogy a pont valószínűleg a déli részen található nagy kiterjedésű parcellához tartozik (3.8. ábra jobbra fent). Ezt a problémát úgy oldottuk meg, hogy manuálisan abba a pixelbe helyeztük át ezeket a pontokat, ahol nagy eséllyel valóság közelebbi értéket kapunk (3.8. ábra balra lent és jobbra lent). Sajnos ez a manuális korrekció sem eredményezett jobb determinációs együttthatót.



3.8 ábra A terepi mérések manuális adaptálása az SMI érték kinyerésének javítása érdekében. Balra fent: pont mérés eredeti helye sárgával jelölve, az SMI térképen (szürkében). Jobbra fent: pont mérés eredeti helye egy nagyon nagy felbontású műholdképen. Balra lent: az eredeti mérési pontot (itt most kékkel jelölve) átraktuk a valóság értéket jobban tükröző helyére (sárgával jelölve). Jobbra lent: a pont új helye az SMI adaton

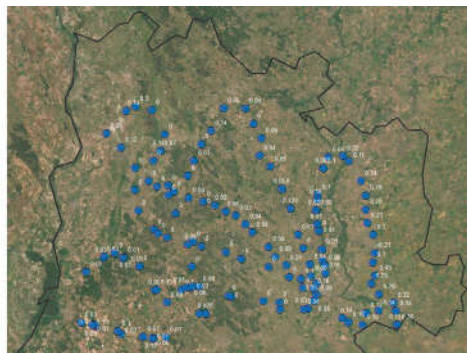
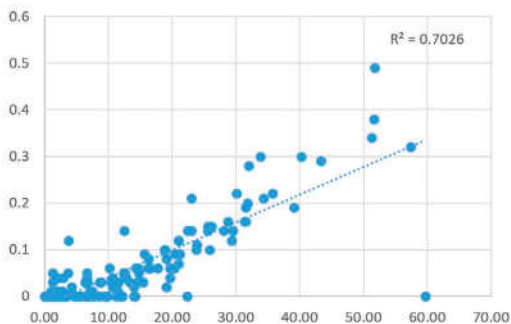
Egy másik hiba lehetőségre, a pont mérések hibás értékelésére látható példa a 3.9 ábrán. Az SMI fájlra ráhelyezett pont méréshez tartozó pixel egy értéket jelenít meg, de valójában a pixel egy integrált talajnedvesség-index értékből áll, amely nagyon eltérő földterület borítás típusok átlagolt értékét mutatja, pl. beépített terület, erdő és különböző mezőgazdasági művelés alatt álló területek (3.9. ábrán jobbra).



3.9 ábra Példa a vegyes földterület használatra

A földi interpretációra kiválasztott pontokkal szemben az egyik legfontosabb elvárás, hogy ténylegesen olyan homogén területhasználatú parcellán legyenek, melyek mérete mindkét irányban meghaladja a műholdkép térbeli felbontásának kétszeresét. Még ilyen homogén parcellán is problémát jelenthetnek a mikrodomborzat miatti hőmérséklet- és nedvességtartalombeli különbségek (3.8 ábra). Sajnos a mintaterületünkön mind az élénk reliefű homokterületeken, mind a Bácskai-löszöshát enyhén hullámos térszínének mélyedéseiben és dombhátain jelentős eltérések vannak a humusztartalomban (színben) és a nedvességtartalomban. A bemutatott mérési kampányban további hibaforrás lehetett, hogy egy száraz időszakban történt a felvételezés, és a talaj kiszáradási frontja 8-15 cm-es mélységben volt. Vagyis a 12 cm hosszúságú szenzor által mért érték a kiszáradt feltalaj és az alatta lévő nedves réteg átlagaként adódott. Tapasztalataink alapján a kalibrálás ideális időpontja egy csapadékos periódus lezárulta után 5-6 nappal kezdődő időszak, amikor a talaj hidrofizikai tulajdonságainak függvényében már olyan előrehaladott állapotban van a talaj kiszáradása, hogy jelentős különbségek adódnak mind a talajhőmérsékletben, mind a talajnedvességben, de még nincs kiszáradva a feltalaj.

A terepi mérési kampány további tapasztalata az volt, hogy a mért talajnedvesség adatok erős kapcsolatot mutattak a talaj sótartalmával (3.10/a ábra). A 3.10/b ábra a sótartalom térbeli eloszlását mutatja, és ezen jól látszik, hogy a Tiszántúlon felvételezett pontokon az jóval nagyobb értékeket mutatott, mint a Duna-Tisza közén. Viszont ha leválogatjuk a 0.06%-nál nagyobb sótartalmú pontokat és az összefüggést csak a nem szikes tulajdonságokat mutató talajokkal vetjük össze, az összefüggés már nem kimutatható. Következtetésként levonható tehát, hogy a következő mérési kampány szervezésekor célszerű más módszertani alapokra helyezett talajnedvesség-mérést is a kalibráláshoz alkalmazni.



3.10 ábra A talajnedvesség, valamint a sótartalom közötti kapcsolat a mintaterületen (a), a mérési kampány során mért sótartalom értékek (b)

## Következtetések

A kidolgozott módszer tesztelése során számos olyan limitáló tényezőt találtunk, melyek megnehezítik a kalibrálás alkalmazhatóságát. A projekt további időszakában a tapasztalataink alapján további mérési kampányokat szervezünk, ahol nedves időszakot követően kerítünk sort a terepi mérésekre, hogy minél szélesebb tartományban tudjunk talajnedvesség-adatokat szolgáltatni, valamint ügyelünk a nagyobb és homogén pontok előzetes szelekciójára. A TDR módszert alkalmazó hordozható eszközök mellett talajmintát is veszünk, melynek a víztartalmát laborban is megmérjük (m/m%), ezáltal kiküszöbölve a szikesség esetleges befolyásoló hatását. A jelenleg létrehozott és folyamatosan publikált SMI térképek egyelőre relatív talajnedvesség adatok, amelyek habár nem abszolút térfogatszázalékot tükröznek, mégis képesek arra, hogy a talajnedvesség viszonyok aktuális térbeli különbségeit reprezentálják. A javuló térbeli felbontás mellett a radar adatok ugyan alkalmasak a felhőborítás problematikájának kiküszöbölésére, azok kalibrációja és validációja még szintén nem megoldott.